

第4回 原子力安全合同シンポジウム

米国における長期運転に向けた取組み

平成30年度 日本機械学会
リスク低減のための最適な原子力安全規制に関する研究会
海外訪問調査団

関西電力株式会社
藤崎 恭史

東北電力株式会社
吉川 祐明

目次

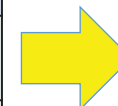
- 米国における長期運転(LR、SLR)の対応状況
- 海外訪問調査（長期運転に向けた取組み）
 - EPRI事務所（Palo Alto）
 - DC Cook 発電所
 - Exelon 事務所（Cantera）
 - LaSalle 発電所

米国における運転期間延長への対応状況

<米国の状況>

○運転認可期間40年満了後、更新認可できる制度（10CFR Part 54）があり、2018年11月1日現在、**9割以上のプラントが60年の運転認可更新を申請済み。6基が80年の運転認可更新を申請済み。**

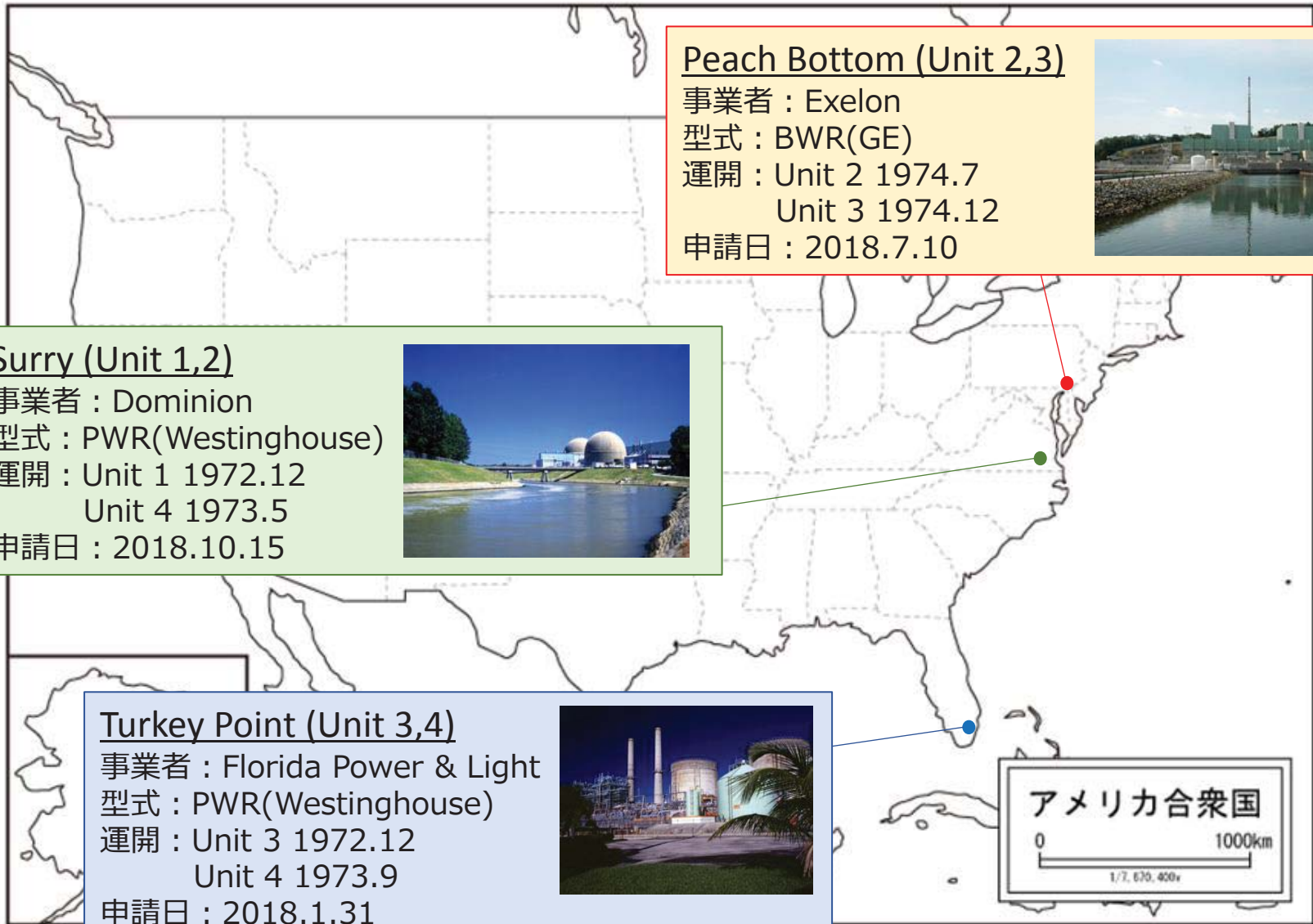
状況			プラント数	
稼動中			98	
	L R	申請済	認可済	92
			審査中	87
		未申請		5
				6
	S L R	申請済	認可済	6
			審査中	0
		未申請		6
				92



うち、47基は既に
40年を超えて運転

米国における60年超運転(SLR※)への対応状況

※Subsequent License Renewal



Peach Bottom (Unit 2,3)

事業者 : Exelon
型式 : BWR(GE)
運開 : Unit 2 1974.7
Unit 3 1974.12
申請日 : 2018.7.10



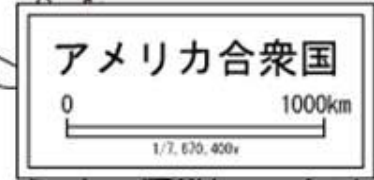
Surry (Unit 1,2)

事業者 : Dominion
型式 : PWR(Westinghouse)
運開 : Unit 1 1972.12
Unit 4 1973.5
申請日 : 2018.10.15



Turkey Point (Unit 3,4)

事業者 : Florida Power & Light
型式 : PWR(Westinghouse)
運開 : Unit 3 1972.12
Unit 4 1973.9
申請日 : 2018.1.31



海外訪問調査先

➤ EPRI事務所（パロアルト）

➤ DC Cook 発電所

➤ Exelon事務所（カンテラ）

➤ LaSalle 発電所

EPRI事務所 (パロアルト)



EPRI LTO※に対する取り組み

※Long Term Operation

【EPRI LTOプログラムの役割について】

- LTOプログラムは2010年から始まり、80年の運転認可更新に必要な研究開発に取り組むことを第一としたものである。EPRIは、技術面で運転認可更新を支援する立場として、IAEAと協力しIGALLを進めてきた。
- LTOの技術基盤として、Aging Management Programs (AMPs) 作成・改訂のための技術情報を提供してきた。
- AMPsは主に①アセスメント（評価）、②インスペクション（検査）、③緩和と試験（ミーティゲーション&テスト）、④テクニカルサポート（情報処理・技術支援）の4分野から構成され、EPRI全体でどのような研究がLTOに必要なかを検討し、成果物としてガイダンスを発行する。

EPRI LTO※に対する取り組み

【EPRI LTOプログラムの研究について】

- 材料劣化について、材料劣化は応力腐食割れ(SCC)の対応が重要であり、腐食性の環境に置かれた部位は劣化の監視が必要である。SCCのメカニズムが全て解明されているわけではなく、割れを100%予防することはできないため、検査・評価・対策するための仕組み（サイクル）を維持することを重要視している。
- コンクリートの劣化研究について、アルカリ骨材反応、照射脆化、腐食、劣化のマネジメントに関する研究を実施し、その成果が運転認可更新（1, 2回目）に活用されている。劣化のメカニズムに加え、劣化の緩和や改善への活用もしており、ガイダンスも発行している。PWRでは2012年から研究プログラムが開始しており、研究成果はIGALLにも反映されている。
- 電気系の経年劣化管理について。放射線と湿度により絶縁性能が低下し、高電圧・低電圧それぞれに研究が盛んに進められている。分析・解析・非破壊試験が実施されており、経年管理のガイダンスをEPRIより発行している。

EPRI LTO※に対する取り組み

【60年超運転に対する活動】

- LTOは、EPRIの研究に基づいてSLRに必要な技術情報を確実に得るために、リードプラントと協力している。EPRIは、SLRに関する米国NRC GALLの報告書を精査し、技術的コメントを提供し、IAEA IGALLの技術的なインプットとレビューを提供している。
- EPRIは80年運転で技術的に大きな課題はないと考えているが、アメリカの事業者が80年運転を実現するためには、安全性や保全の要件を継続して満足する必要があると考えている。
- 80年運転に支障のある劣化メカニズムが発見された場合は当然運転をやめる（80年未満で廃炉）し、逆に技術的に劣化の程度に余裕があれば100年超の運転も目指す。そのためには検査・保守技術の高度化が必須である。
- 80年運転に関する活動は上記のような技術基盤に基づいて行うが、一方でそれらが経済的に難しいのであれば運転をやめることになるし、その判断に必要な技術的知見をEPRIが提供する。

EPRI LTO※に対する取り組み

※Long Term Operation

【監視試験片再生に関する活動】

- 80年運転時の材料劣化を評価するにあたり、炉内の評価用サンプルの不足が懸念され、BWRに対し、主に80年運転に向けて調査に使用したサンプルを再利用することを方針としている。
- 米国では母材と溶接部について評価することが要求されている。熱影響部についての評価が求められていない点が日本の規制要求事項と異なる。
- BWRユニットは統合化されたサーベランスプログラムがあり、パイロットプラントのデータを共有・活用できる。使用済みのサンプルを再加工するためのプロセスを確立し、そして試験片と試験結果を共有することで全てのプラントが個別に試験片を用意する必要がないようにしている。

DC Cook発電所



DC Cook発電所の概要



事業主：American Electric Power

型式：PWR（アイスコンデンサ型）

運開：1号機 1975/8、2号機 1978/7

出力：1号機 104.5万kW、2号機 116.8万kW

DC Cook発電所 ビジターセンター



DC Cook発電所 長期運転に対する取り組み

1・2号機共に2005年に運転更新(License Renewal)を認められており、60年運転が可能となっている。

- 米国ではLR申請の前に州や自治体への承認を得る必要はなく、NRCの管轄の下で実施する。LRの過程において、一般市民が関心事をNRCに確認するためのパブリックミーティングも実施される。
- D.C.クックは建設以来、自治体と良好な関係を維持しており、市民団体や慈善事業にも貢献している。自治体のステークホルダーに対しても、透明性を維持することが良好な関係には重要である。
- D.C.クックは80年運転も視野に入れているが、マンパワーの消費を抑えるため、Dominion(Surry発電所)とDuke(Oconee発電所)の状況を踏まえ今後判断していくという。

DC Cook発電所 長期運転に対する取り組み

【中性子照射脆化に関する取り組み】

- DC CookはRV内の中性子による照射脆化度合いを見るため、原子炉容器内のサーベランス試験片で破壊試験を行っている。
- 現在、サーベランス試験片は残り8個あって、定期的に取り上げて脆化具合を見ている。今後は2年後に1・2号機とも取り出して、60年目の前にもう1回取り出す予定となっている。（最近の取り出しは2002年）
- 80年も視野に入れて取り出し回数を抑えたいと考えている。
- DC Cookが所持する試験片は母材、溶接部、HAZ(熱影響部)全て揃っている。
- 試験片は全て高フルエンスであり、80年分の照射量を受けた試験片を取り出すことができる。
- DC Cookは試験片の再生(使用済み試験片を加工して再び原子炉容器内に戻す)は検討していない。

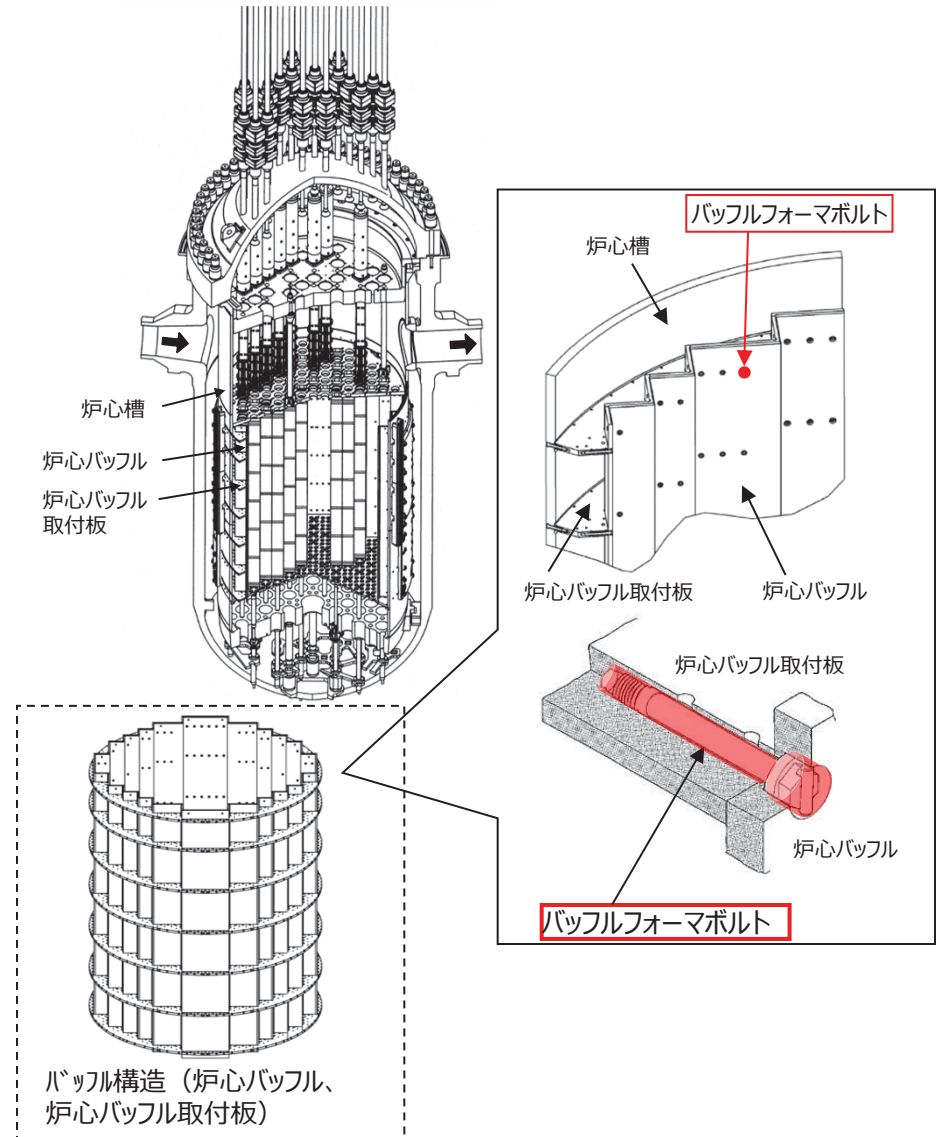
DC Cook発電所 長期運転に対する取り組み

【バップルフォーマボルトに関する取り組み】

- D.C.Cookではバップルフォーマボルト(BFB)の損傷も問題になっている。ボルト本体に応力がかかり、IASCC(照射誘起型応力腐食割れ)を引き起こしている。
- 2010年目視点検時に初めて損傷が確認された。その後、Indian PointやSelamのU T検査でも損傷が発見されたため、2016にU T検査を実施し、ボルトを取り替えた。

DC CookのBFB損傷本数

	1号機	2号機
2010年 (目視検査)	0	48
2016年 (UT検査)	18	170

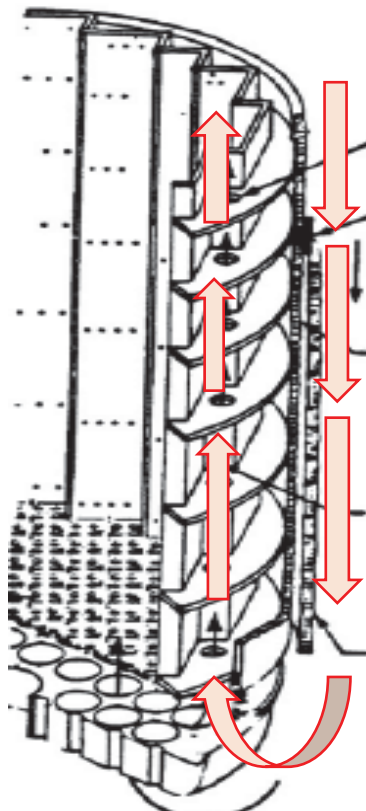


DC Cook発電所 長期運転に対する取り組み

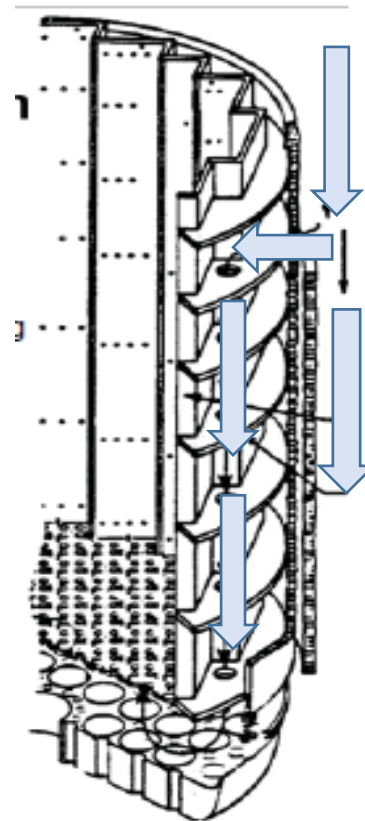
【バッフルフォーマボルトに関する取り組み】

- D.C.Cookはダウンフローであり、IASCCの影響を受けやすいため、BFB取替に加えて、アップフロー化を進めている。2号機は2018/4に実施済み、1号機は2019年春頃実施予定。アップフロー化すれば損傷の懸念は無くなると考えている。

アップフロー



ダウンフロー



Exelon事務所（カンテラ）



4300 Winfield Road Warrenville, IL 60555



Exelon社カンテラオフィス館内風景



会議風景

Exelon社の概要

米国の大手電力・ガス会社の持ち株会社。原子力部門の本社はイリノイ州のCanteraに所在。
14箇所の原子力発電所で24の原子炉を有している。

NPS	St.	Unit	Type	Reactor supplier	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040
Nine Mile Point	NY	1	BWR	General Electric									
		2	BWR										
R. E. Ginna	NY	1	PWR	Westinghouse									
Dresden	IL	2	BWR	General Electric									
		3	BWR										
Quad Cities	IL	1	BWR	General Electric									
		2	BWR										
Peach Bottom	PA	2	BWR	General Electric									
		3	BWR										
Three Mile Island	PA	1	PWR	Babcock & Wilcox									
James A. FitzPatrick	NY	1	BWR	General Electric									
Calvert Cliffs	MD	1	PWR	Combustion Engineering									
		2	PWR										
Salem PSEG57%, Exelon43%	NJ	1	PWR	Westinghouse									
		2	PWR										
LaSalle	IL	1	BWR	General Electric									
		2	BWR										
Byron	IL	1	PWR	Westinghouse									
		2	PWR										
Limerick	PA	1	BWR	General Electric									
		2	BWR										
Clinton	IL	1	BWR	General Electric									
Braidwood	IL	1	PWR	Westinghouse									
		2	PWR										

SLR申請

SLR App. Submission Date
Jul. 10 2018

訪問先

LR App. Submission Due Date
Jan. to Mar. 2021

Exelon社 長期運転に対する取り組み

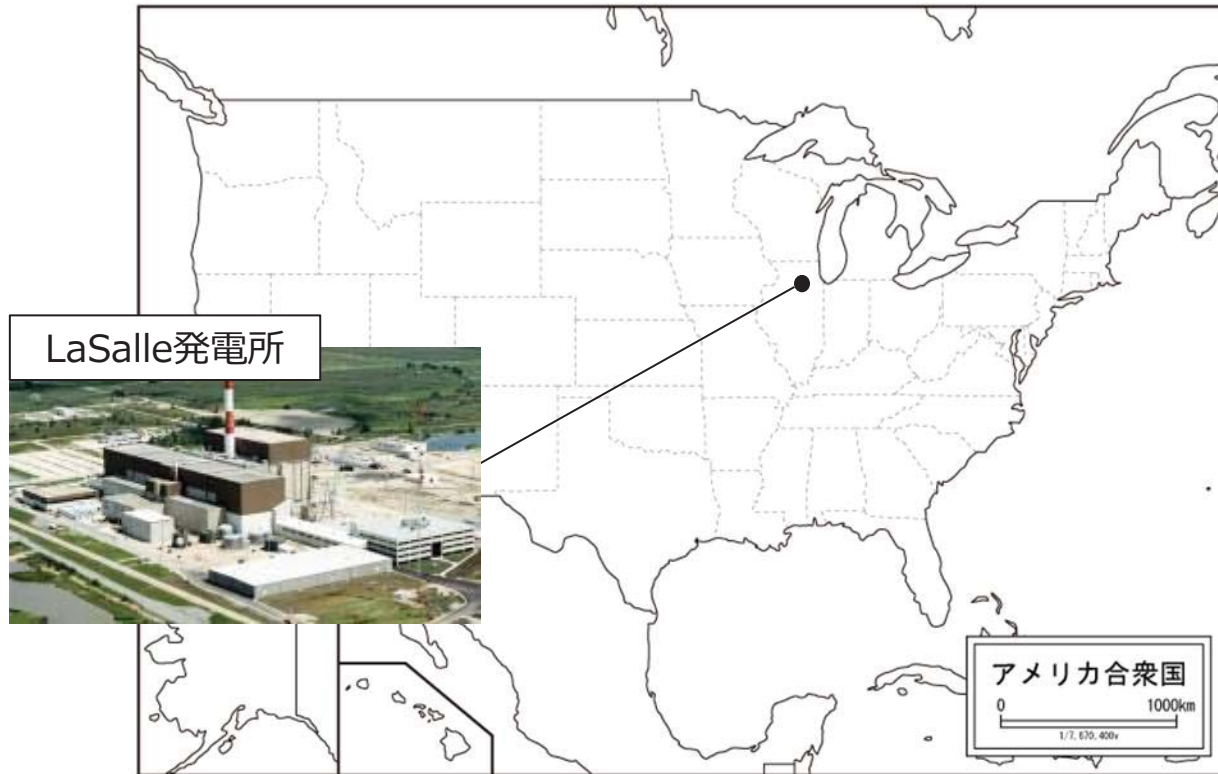
【SLRの申請について】

- SLRの申請理由は経済性によるもの。米国における原子力発電所の新設には約100億ドルが必要と考えている。これに対し、SLRの申請に掛かる費用はトータル（申請に掛かる人件費や解析費用に加え、設備更新含む）で3000万ドルと試算。
- SLRの審査対応は、10人の職員が3年の期間を掛けて、準備。審査期間は約18ヶ月を要する見込み。
- SLRでクリティカルになるものは、原子炉圧力容器、炉内構造物、経年劣化したケーブル、埋設配管、原水配管など。60年の延長申請時と同じ設備がクリティカルになる。なお、ピーチボトムではコンクリートはクリティカルにならない。
- 高経年化プラントとなるため、メンテナンスコストが増加する可能性がある。これについては、10CFR50.69、サーベイランス頻度管理および価値基準保全イニシアティブなどでPRAを実施し、メンテナンスコストを削減するためのリスクアプローチを実施している。
- SLR申請に関する地元への説明の仕方として、「公開ミーティングでの意見収集」「勉強会に参加」などを実施している。

LaSalle発電所



LaSalle発電所の概要



事業主：Exelon Corporation

運転者：Exelon Generation

型式：BWR-5（Mark-II格納容器）

運開：1号機 1984/1、2号機 1984/10

出力：1号機 113.7万kW、2号機 114.0万kW

イリノイ川からポンプで水をくみ上げ、敷地内にある2000エーカーの貯水池に水を蓄えて、活用している。

LaSalle発電所 長期運転に対する取り組み

【LRの申請，審査について】

- 新設プラントはコストの観点で難しいことから、現存するプラントの運転期間を延長する戦略が経済的に最適だと考えた。経年劣化プログラム（AMP）を最初に作り、それを実行すればいいので、難しいことではない。
- LR申請は人件費で2000万ドルかった。ハードはおおよそ1000万ドル。
- LRに関する申請書やNRCとのやり取りは全て公開している。また、NRCがLRに関する公開ミーティングにて地域住民と意見交換をしているため、住民からの反対はなかった。LaSalle発電所の半径10マイルの範囲には2500人しか住んでいないため、地域住民と良好関係を構築しやすいと考える。
- NRCは、格納容器、原子炉圧力容器、炉内構造物、コンクリート、ケーブルについて念入りに審査を行う。特に、長期的に熱や放射線の影響を受ける機器や部位に審査の焦点を当てている。

LaSalle発電所 長期運転に対する取り組み

【長期運転時の保守管理について】

- 長期運転の際は、RPV（劣化メカニズムは、疲労や照射脆化）の補修、蒸気乾燥器の交換、埋設配管の交換等の大型補修・取替工事がクリティカルになると予想。シュラウド取替のような大型改造工事はLaSalle発電所で実施したことはない。
- 埋設配管は掘り起こす必要があることから、これら配管の補修や取替には高いコストがかかることが予想される。
- コスト削減のため、工事・検査（特に放射線量が高い場所）をまとめることやベンダーへの委託をまとめて発注すること等を行っている。また、機器に不備があったときに、交換するか修理するかをコストの観点で比較し、方針を決めている。
- 機器の保全頻度は、Delivering the Nuclear Promise^{※1}（DNP）におけるValue Based Maintenance^{※2}（VBM）の活動に基づき、見直している。具体的には、非安全関連機器を対象として、予防保全タスクの削減、時間基準保全から状態監視保全への移行などを実施している。

※1：米国で保全コストを30%低減させることを目標としてNEIによって制度設計されたもの

※2：安全性だけでなく、運転性（発電損失、補修費用）も考慮して、対象機器を選定する

まとめ（米国における長期運転に向けた取組み）

【長期運転に関するEPRIの研究活動】

- 2010年から始まったLTOプログラムにより技術面で80年の運転認可更新に必要な研究開発に取り組んでおり、技術的知見を提供している。
- EPRIは、技術面で運転認可更新を支援する立場として、IAEAと協力しIGALLを進めてきた。

【長期運転に関する経済性】

- SLR費用は約3,000万ドル。新設(約100億ドル)より経済性に優れる。
- 高経年化プラントで保修費用を抑えるため、10CFR50.69に基づきサーベイランス頻度管理および価値基準保全イニシアティブでPRAを実施。

【長期運転に関する対策・活動】

- どの発電所も、長期運転について自治体や地元住民に向けた理解活動を展開している。
- D.C.Cook発電所では、BFBの保全対策としてアップフロー化を実施している。
（日本国内は既にアップフロー化済みである）
- LaSalle発電所では60年運転の際に支障となる劣化は確認されていない。
- SLRを申請したPeachBottom発電所は、原子炉容器や炉内構造物等のLR時と同じ設備がクリティカルになると考えている。